

注塑机料桶温度模糊解耦控制系统*

彭 斐

彭勇刚 韦 巍

(杭州职业技术学院,杭州 310018) (浙江大学电气学院,杭州 310027)

摘要 针对注塑机料桶温度控制强耦合、非线性特点,采用模糊控制及解耦的方法进行温度控制。介绍了该控制方法的实施,并通过仿真和实验证明了该方法的有效性。

关键词 注塑机 温度控制 模糊控制 解耦

在塑料的注塑过程中,熔体温度是一个很重要的参数,其高低取决于料桶温度和料桶内螺杆与塑料之间的剪切热。一般认为,在中小型注塑机中熔体温度取决于料筒温度,熔体温度的控制表现为对料桶温度的控制。若料桶温度太低,塑料在螺杆间产生不必要的剪切力,并因此产生冷固化,容易对机器造成损坏。温度过高时,塑料分子间发生交联,会使组织疏松,产生发泡现象,尤其在精密注塑中更是不允许的。同时不同塑料制品采用的塑料原料不同,而塑料原料根据制品的工艺要求其最佳注射温度各不相同,并且其对注塑机料筒的不同区段也有不同的温度要求。因此,需要对料筒温度进行分段控制。目前,国际上熔体温度的控制精度一般为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,而我国实际控制精度尚为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 左右。笔者通过采用模糊控制及解耦的方法进行温度控制,控制精度为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

1 注塑机料桶温度控制对象

注塑机料桶温度系统由多段电加热圈组成,一般分为3~6段加热区,分别由3~6个固态继电器进行控制。注塑机料桶温度各加热区段的控制模型可以近似为:

$$G(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts + 1} \quad (1)$$

式中: K ——比例常数;

τ ——滞后时间;

s ——拉普拉斯变换变量;

T ——时间常数。

由式(1)可知,注塑机料筒温度控制系统为一阶带纯滞后的大惯性系统,而且控制的系统具有时变性(K , T 时变)。而且由实际的加热方式可知温度的控制为单向,即只能主动升温,而降温只能靠自然冷却。

由于注塑机料筒是连续的,各段之间没有隔离,只是人为的根据放置的几个加热圈分为几段,各段

加热器连续放置,所以各段之间的温度是相互影响的,各段之间的热量是流动的,所以各段之间的温度控制是相互耦合的。加热其中一段,必定影响到相邻段的温度变化。

不同型号的注塑机其加热圈功率、料桶容积等参数不一样,料桶温度控制对象的模型参数也是不一致的。而且即使同一台注塑机生产不同的制品时,所使用不同原料的比热容是不同的,生产不同的制品时加料速度及加料质量也不同,这些因素均会导致注塑机料桶温度控制对象的模型不确定。总之注塑机料桶温度控制对象是一个强耦合、多变量、大滞后、不确定性的控制对象。

当前的注塑机料桶温度控制通常使用传统的PID控制方法^[1~2],PID参数由人工在调试现场输入,但不同地区的用户,由于环境不同,PID参数也不同,即使同一用户,PID参数也会随环境变化而作出调整,不方便用户使用,也无法获得满意的控制效果。有学者提出采用自整定的PID控制方法^[3~4],以及普通的模糊控制方法^[5~7],但由于没考虑注塑机料桶温度控制的强耦合作用,效果仍然不够理想。

文献[8]提出的神经网络解耦控制方法在理论上可行,但是神经网络学习的计算量很大,在嵌入式的工程控制中无法实现。

文献[9]提出采用模糊控制方法来控制注塑机料桶温度,虽然没有考虑到温度的耦合特点,但是实际控制效果也表现出了模糊控制在料桶温度控制中的适应性。笔者采用模糊控制及模糊补偿解耦思想,结合注塑机料桶温度的耦合特点,设计出模糊补偿解耦器,再结合模糊控制来对注塑机料桶温度进行控制。

* 国家科技支撑计划项目(2007BAF13B03)、中国博士后基金项目(20090451451)

收稿日期:2009-12-17

2 模糊控制及模糊补偿解耦在注塑机料桶温度控制中的应用

2.1 基本的模糊控制策略

对各段料桶温度控制采用两输入单输出模糊控制策略。对于本系统, 为了加快系统响应速度, 具体采用如下的策略来实现:

料桶温度小于设定值 30℃ 时, 采用 100% 恒定功率输出控制; 料桶温度大于设定值 2℃ 时, 完全关闭控制输出, 不再加热; 其它情况下, 采用模糊控制方法进行控制。

注塑机温度模糊控制器为以误差 e 和误差的微分 $\dot{e}$ 为输入的两输入单输出的模糊控制器, 它是根据系统输出的误差及误差的变化趋势来消除误差的模糊控制规则。 e 及 $\dot{e}$ 均分为 7 个变量等级 (NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB), 隶属度函数均采用三角形结构。根据实际控制中的经验和常规控制常识, 得到模糊控制规则表, 见表 1。

表 1 模糊控制规则表

$\dot{e}$	e						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	PB	PB	PB	PB	PM	PM	ZE
PM	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZE
PS	PM	PM	PM	PM	ZE	ZE	ZE
ZE	PM	PM	PS	ZE	ZE	ZE	ZE
NS	PS	PS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
NM	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
NB	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE

输出量的精确化过程采用重心法。根据规则, 通过离线计算的方法可以得到一张最后的控制表, 实际应用中根据采样所获得的数据经过模糊量化再查表就可以获得对应的输出。

采用该模糊控制方法进行仿真, 其第一段的控制效果如图 1 所示, 稳态时 (丙烯腈/丁二烯/苯乙烯) 共聚物 (ABS) 温度变化 (ΔT) < 2℃, 但超调较大, 设定温度为 180℃ 时峰值达到 200℃, 不满足控制要求。这说明单输入单输出模糊控制本身虽有一

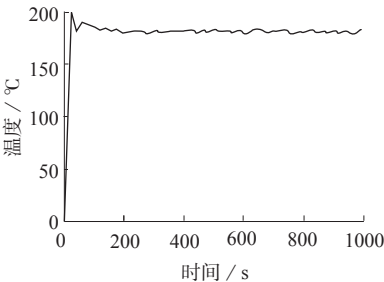


图 1 基本模糊控制效果

定解耦能力, 但对于变量之间存在强耦合关系的对象控制效果不是很好。

2.2 基于温差的模糊解耦策略

由于注塑机料桶温度控制对象的不确定性, 精确的数学模型难以获得, 并且不同状况下其模型也不一样, 所以基于状态反馈的解耦方法和模糊控制方法都不能直接利用。通过分析认为, 对注塑机而言, 每段加热区本身的输入量对其输出量起主要作用, 其它变量可看作干扰量。在这些变量中, 相邻加热区之间的耦合最为严重。因此, 可以忽略相邻加热区之外的其它加热区对本加热段的影响, 即认为这种影响已间接地反映在相邻加热区的温度变化上。

对系统作以上处理后, 笔者采取以下的策略来实现各段加热区之间的解耦。其基本思想是, 首先为每个温度通道设计其单通道的单输入单输出模糊控制器, 得到其输出 U'_i ; 其次把其它通道的耦合作用当作干扰, 为了克服干扰的影响, 对相邻段对本段温度控制的影响采用一个模糊补偿项来进行近似解耦处理。对于 i 段温度控制, 第 $i-1$ 段和第 $i+1$ 段对其有影响 (第一段没有第 $i-1$ 段, 最后一段没有第 $i+1$ 段), 通过模糊补偿, 分别用 $U'_{i,i-1}$ 和 $U'_{i,i+1}$ 来表示第 $i-1$ 段和第 $i+1$ 段的影响, 这样第 i 段的温度控制为 $U_i = U'_i + U'_{i,i-1} + U'_{i,i+1}$ 。

该模糊解耦补偿控制方法及 $U'_{i,i-1}$ 和 $U'_{i,i+1}$ 的计算方法如下:

令各加热区的设定温度分别为 $T_1, T_2, \dots, T_m$; 各加热区的实际温度分别为 $T'_1(t), T'_2(t), \dots, T'_m(t)$, 其中 t 为时间变量。

第一步: 设计 m 个单变量模糊控制器, 考虑二维模糊控制器, 输入为 $E_i(t) = T_i - T'_i(t)$, $EC_i(t) = dE_i(t)/dt$, 记模糊控制器的输入输出关系为 $f(\cdot)$, 则单变量模糊控制器输出为:

$$U'_i = f[E_i(t), EC_i(t)] \tag{2}$$

第二步: 设计解耦模糊控制器, 计算该段的 $U'_{i,i-1}$ 和 $U'_{i,i+1}$, 对于第 i 段加热区, 考虑到主要耦合作用来自第 $i-1$ 及第 $i+1$ 段加热区的温度变化, 其它加热区的作用可忽略不计。令:

$$d_{i,i+1} = (T_{i+1} - T_i) - (T'_{i+1} - T'_i) \tag{3}$$

即 $d_{i,i+1}$ 为第 $i+1$ 段加热区及第 i 段加热区的设定温度误差与实际温度误差之差。

$$e_{i,i+1} = T'_i - T'_{i+1} \tag{4}$$

即 $e_{i,i+1}$ 为第 $i+1$ 段加热区及第 i 段加热区的

实际温度之差。同理可以得到第 $i-1$ 区和第 i 区之间的关系。

$$d_{i,i-1} = (T_{i-1} - T_i) - (T'_{i-1} - T'_i) \quad (5)$$

$$e_{i,i-1} = T'_i - T'_{i-1} \quad (6)$$

解耦模糊控制算法可描述如下:

if($d_{i,i+1}$ and $e_{i,i+1}$) then $U'_{i,i+1}$

if($d_{i,i-1}$ and $e_{i,i-1}$) then $U'_{i,i-1}$

d_i 、 e_i 、 $U'_{i,i+1}$ 、 $U'_{i,i-1}$ 均划分为 7 个变量等级 (NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB), 隶属度函数均采用三角形结构。

根据实际情况,总结出模糊规则推理表,列于表 2。

表 2 模糊补偿规则表

d	e						
	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PM	PS	PS	ZE
PM	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	NS
PS	PB	PM	PS	PS	ZE	NS	NM
ZE	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
NS	PM	PS	ZE	NS	NM	NB	NB
NM	PS	ZE	NS	NM	NB	NB	NB
NB	ZE	NS	NM	NB	NB	NB	NB

$d_{i,i-1}$ 、 $d_{i,i+1}$ 表示的是当前段温度误差和相邻段温度误差之间的差值,该差值为正表示第 i 段温度误差比相邻段大,则第 i 段单独模糊控制输出比相邻段大; $e_{i,i-1}$ 、 $e_{i,i+1}$ 参数表示当前段实际温度与相邻段实际温度之差,该差值为正表示第 i 段实际温度比相邻段实际温度高,则第 i 段的热量会向相邻段流动。所以 d_i 和 e_i 越大,则第 i 段的温度控制补偿越大;反之 d_i 和 e_i 越小,则第 i 段的温度控制补偿越小。即如表 2 中的补偿规则。

if($d_{i,i+1}$ is PB and $e_{i,i+1}$ is PB) then $U'_{i,i+1}$ is PB;

if($d_{i,i+1}$ is NB and $e_{i,i+1}$ is NB) then $U'_{i,i+1}$ is NB;

if($d_{i,i-1}$ is PB and $e_{i,i-1}$ is PB) then $U'_{i,i-1}$ is PB;

if($d_{i,i-1}$ is NB and $e_{i,i-1}$ is NB) then $U'_{i,i-1}$ is NB。

第三步:计算解耦模糊控制器的输出值 U_i 。

$$U_i = U'_i + U'_{i,i-1} + U'_{i,i+1} \quad (7)$$

若当前段是第一段,则 $U_i = U'_i + U'_{i,i+1}$ (8)

若当前段是最后一段,则 $U_i = U'_i + U'_{i,i-1}$ (9)

其中, $U'_{i,i-1}$ 和 $U'_{i,i+1}$ 为解耦项,其作用是解耦补偿控制。此算法组成的控制器为模糊解耦控制器,结构图如图 2 所示。

采用该控制算法对注塑机料桶进行温度控制,其中一段的控制效果如图 3 所示。

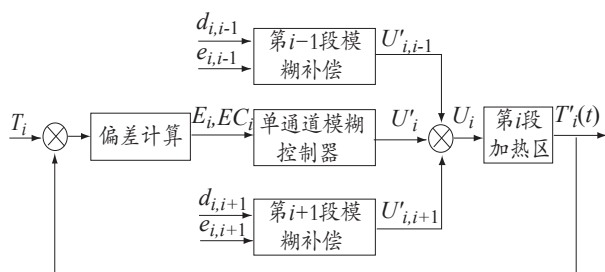


图 2 注塑机料桶加热模糊解耦控制器结构图

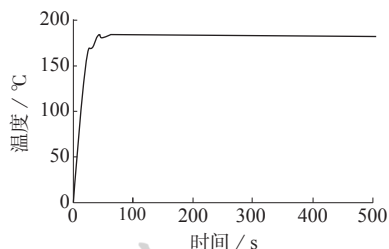


图 3 模糊解耦控制效果

从图 3 可以看出,模糊解耦控制器的控制效果良好,超调只有 3℃,控制精度达到 $\pm 1^\circ\text{C}$,明显优于基本的模糊控制方法。

3 温度实际控制效果

笔者设计的注塑机控制系统具有互联网连接功能,可以通过 PC 机远程连接到注塑机控制系统,并将注塑机控制系统的料桶温度控制数据实时地发送回来,并存储为 EXCEL 文件格式,可以进行分析和处理,进行算法的优化实验等。

使用网络采集相邻两段的温度控制效果,第一段设置为 180°C ,第二段设置为 185°C ,当前室温为 20°C 左右。由于采集数据量比较大,采集的时间周期为 2 s,采集到注塑机控制系统料桶温度控制曲线如图 4 所示。由图 4 可知,料筒温度响应均比较迅速,大约 20 min 达到设定值,温度超调小,稳态控制误差在 1°C 以内。

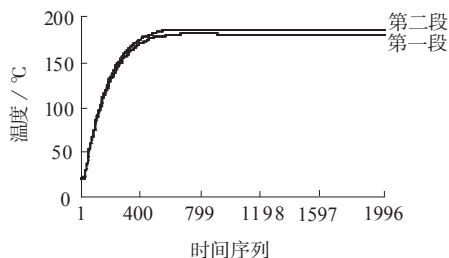


图 4 注塑机控制系统料桶温度控制曲线

4 结论

模糊解耦控制器的控制效果良好,超调只有 3℃,明显优于基本的模糊控制方法。而且由于它兼有一般模糊控制方法可以离线计算控制表、便于工程实现的优点,可以达到系统设计要求。实践证明,

该算法具有良好的适应性,可满足不同用户的需求。

参考文献

[1] 李挥,陈仲球.注塑机加热过程多种控制方法的比较研究[J].塑料科技,1995(5): 33 - 38.

[2] 王建萍.注塑机智能温控系统的实现[J].测控技术,1996, 15(6): 51 - 53.

[3] 金波,沈海阔,汤进举,等.注塑机料筒温度模糊变系数 PID 控制研究[J].中国机械工程,2005,16(5): 395 - 398.

[4] 杜柳青,罗辑,唐毅锋.基于模糊自适应 PID 的注塑机温度控制系统[J].机床与液压,2006(5): 168 - 170.

[5] 李国胜,张文斌.多变量温度系统的变结构控制[J].青岛海洋大学学报,1997,27(4): 583 - 588.

[6] 李学锋,杨先发.多变量模糊解耦控制系统研究与应用[J].西北工业大学学报,1995,13(1): 56 - 60.

[7] 李宁,何汉青.多变量温度模糊控制器的研究[J].自动化与仪表,2000,15(5): 4 - 6.

[8] 舒怀林,郭秀才,舒杰磊.注塑机料筒多段温度 PID 神经网络解耦控制系统[J].计算技术与自动化,2004,23(4): 55 - 57.

[9] 陈昶.注塑机射料管温度的模糊控制[J].电子技术,2000, 27(9): 38 - 40.

BUCKET TEMPERATURE FUZZY DECOUPLE CONTROL OF INJECTION MOLDING MACHINE

Peng Fei

(Hangzhou Vocation & Technical College, Hangzhou 310018, China)

Peng Yonggang, Wei Wei

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

ABSTRACT For strong coupling, nonlinear characteristics of injection molding machine bucket temperature control, fuzzy control and decoupling control method were employed. The implementation of control method is introduced. Simulation and experiment results had proved the effectiveness of the method.

KEYWORDS injection molding machine, temperature control, fuzzy control, decouple

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告,如读者需要查询更详细的资料或了解情况,请填好《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料,以满足您的要求。如需购买任何广告单位的材料、设备、仪器及配件等产品,我社将帮助您联系,以保证产品质量,争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡

No _____

读者姓名 _____ 单位 _____ 邮政编码 _____

通讯地址 _____ 电话 _____ E-mail: _____

欲获得《工程塑料应用》 _____ 年第 _____ 期第 _____ 页 _____

广告中有关 _____ 的详细资料。

如空位不够,请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031

《工程塑料应用》杂志开设“技术转让与合作”、“企业风采”栏目

为作好广大作者、读者单位最新科研成果及新产品、新技术的推广服务,《工程塑料应用》杂志和“工程塑料网”(www. epa1973. com) 网站已开设“技术转让与合作”栏目,以方便买卖双方的有效交流与沟通。栏目内容可涉及科研成果及专利技术的转让,公司新产品、新技术简介等方面。另外,为了全方位宣传塑料行业精英企事业单位形象,《工程塑料应用》杂志增设“企业风采”栏目。报道内容主要是企业发展历史、企业文化、企业管理、研发创新能力、新产品发布、攻关项目介绍,人物专访等。来稿字数控制在 5000 字以内,可以附带图片。

《工程塑料应用》为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,国内外公开发行,屡获国家期刊奖,是中国塑料行业的权威媒体,知名度高,发行量大。可确保您发布的信息有足够的浏览量。

欢迎各有关企事业单位踊跃投稿! 投稿时请加盖单位公章。具体刊登事宜请与编辑部直接联系。

地址: 济南市 108 信箱杂志社(250031) 电话: 0531 - 85878057 传真: 0531 - 85947355 E-mail: epa@ epa1973. com